

Д.Н. Шурыгин, Т.В. Литовченко, А.А. Заика, В.А. Добровольский

ОБОСНОВАНИЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОДНОРОДНОСТИ УЧАСТКА УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выделение геологически однородных участков углевмещающей толщи необходимо для геометризации показателей и прогнозирования их значений в геологическом пространстве. При многомерной геометризации не всегда удается построить единственную математическую модель, имеющую хорошие прогностические свойства, сразу для всей углевмещающей толщи. В этом случае для каждого геологически однородного участка толщи подбирается своя модель размещения показателя. При последовательном выделении геологически однородных участков углевмещающей толщи методом кластерного анализа на каждом этапе возникает необходимость более детальной кластеризации. Критерием однородности участка и остановки процедуры кластеризации является постоянство параметров уравнения регрессии корреляционных взаимосвязей показателей. Выделение геологически однородных участков угольного месторождения на основе математического моделирования размещения свойств пластов горных пород в недрах обеспечивает повышение точности прогноза средних значений горно-геологических показателей на выемочных участках и надежности установления парагенетических связей показателей, используемых при планировании горных работ.

Ключевые слова: горно-геометрическая модель, математическое моделирование, планирование горных работ, геологическая однородность.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-83-88

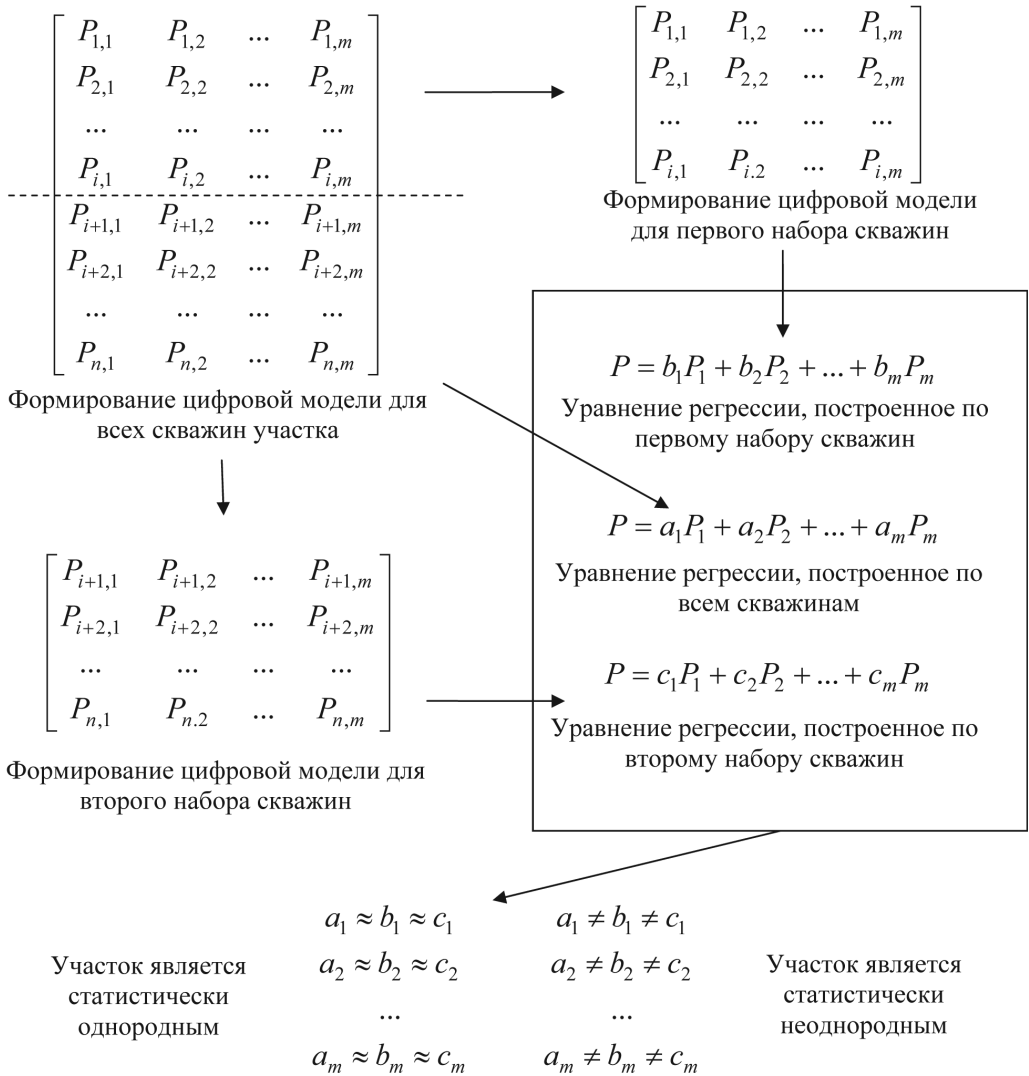
Введение

Для эффективного применения метода аналогии при геометризации и прогнозирования показателей требуется соблюдение принципа подобия исследуемого месторождения месторождению-аналогу, освоенному разработкой [1]. В работе [2] А.К. Порцевский указывает на необходимость использования успешных горно-технологических решений по подземной разработке на месторождениях или участках со сходными горно-геологическими условиями. Геологический объект является однородным, если

проведение в нем каких-либо границ не имеет смысла, как любое разбиение этого объекта на более мелкие участки не приведет к различиям в законе распределения комплекса признаков. В.В. Руденко и А.Ю. Ведяев на основе метода Д.А. Родионова разработали статистический метод разграничения геологического пространства по комплексу признаков [3], который отличается алгоритмом агрегирования двух участков при устранении ложной границы между ними. В работе [4] приводится алгоритм выделения дискретно-однородных интервалов геологи-

ческих разрезов с учетом одновременного влияния на них изменений всех анализируемых показателей. В работе [5] W. Zhang и соавторы применили дискриминантный анализ для разделения толщи горных пород на четыре типа. В качестве показателей использовались: глубина залегания угольного пласта, отношение мощности массива пород к мощности угольного пласта, прочность пород на сжатие, площадь трещиноватых пород

и др. Обучающие примеры были разделены этим методом на типы без ошибок (получена 100%-ная точность разделения). Особенности геологической информации и ее классификация при помощи дискриминантного анализа приведены в работе [6]. Классификация горных пород на осадочные и магматические была осуществлена дискриминантным анализом в [7]. К. Heil и U. Schmidhalter использовали дискриминантный анализ



Проверка однородности участка угольного месторождения

для районирования типов почв угольных пластов [8]; точность прогнозных моделей составила 79–80%.

Теория вопроса

Повышение точности геометризации показателей месторождения основано на разделении массива горных пород на участки с математическими моделями размещения показателя, характерными только для этих участков [9–12]. Критерием оптимальности количества кластеров (участков угольного месторождения) может являться статистическая однородность (постоянство средних значений, дисперсий или в общем случае законов распределения) горно-геологических показателей в выделенных участках. При моделировании корреляционных взаимосвязей между показателями в разрезе углевмещающей толщи можно рассматривать уравнение регрессии в качестве интегральной статистической характеристики геологически однородного участка угольного месторождения. Коэффициенты уравнения регрессии, отражающими корреляционную взаимосвязь между показателями, должны оставаться стабильными (постоянными) для любого набора скважин, входящих в участок толщи, как показано на рисунке.

Методы анализа

На основе многомерного статистического анализа данных выдвигается нулевая гипотеза о равенстве коэффициентов регрессии, т.е. равенстве математических моделей для разных наборов скважин в пределах участка угольного месторождения. Такой подход в статистике получил название теста Чоу [11] и заключается в построении уравнения регрессии для объединенных в одну совокупность данных, которые по отдельности использовались для расчета коэффициентов двух сравниваемых моделей. Участок углевмещающей толщи можно

считать однородным при выполнении условия:

$$F = \frac{(ESS - ESS_1 - ESS_2) / m}{(ESS_1 + ESS_2) / (n - 2m)} < F_{\text{крит}} = F_{\alpha}(m, n - 2m), \quad (1)$$

где ESS — сумма квадратов остатков регрессии для объединенных данных (для всех скважин участка); ESS_1 , ESS_2 — суммы квадратов остатков регрессии по первому и второму наборам скважин; m — количество переменных математической модели; n — количество скважин в пределах участка; $F_{\alpha}(m, n - 2m)$ — критическое значение F -статистики для m и $n - 2m$ степеней свободы, а также уровня значимости α (обычно принимается 5%, т.е. $\alpha = 0,05\%$).

Сумма квадратов остатков регрессии (ESS) в (1) определяется по формулам:

$$ESS = \sum_{j=1}^n (a_1 P_{j1} + a_2 P_{j2} + \dots + a_m P_{jm} - \bar{P})^2,$$

$$ESS_1 = \sum_{j=1}^i (b_1 P_{j1} + b_2 P_{j2} + \dots + b_m P_{jm} - \bar{P}_A)^2,$$

$$ESS_2 = \sum_{j=i+1}^n (c_1 P_{j1} + c_2 P_{j2} + \dots + c_m P_{jm} - \bar{P}_B)^2, \quad (2)$$

где \bar{P} , \bar{P}_A , \bar{P}_B — среднее значение показателя, используемого в качестве зависимой переменной в уравнениях регрессии, соответственно для всех скважин участка, первого и второго набора скважин.

Обсуждение результатов

В качестве примера рассмотрим горно-геологические условия разработки угольного пласта i_3^B (шахта «Ростовская», Восточный Донбасс). Подтип № 2 толщи приурочен к центральной части шахтного поля, а подтип № 1 — к периферийной. Регрессионная зависимость между пластами для подтипа № 1 толщи выглядит так:

$$m_{\text{уг}} = 0,023 m_{\text{ал.к}} + 0,042 m_{\text{ал.п}} \quad (3)$$

Здесь и далее в формулах используются стандартные обозначения, принятые в статистике: под коэффициентом регрессии записывается величина его стандартной ошибки. Регрессионное уравнение для подтипа № 2 толщи:

$$m_{\text{уг}} = 0,017 m_{\text{ал.к}} + 0,107 m_{\text{ал.п}} \quad (4)$$

Регрессионное уравнение для скважин обоих подтипов толщи:

$$m_{\text{уг}} = 0,029 m_{\text{ал.к}} + 0,062 m_{\text{ал.п}} \quad (5)$$

Приведем статистики уравнений (3)–(5) для теста Чоу (1), (2): $ESS = 5,575$; $ESS_1 = 0,603$; $ESS_2 = 7,903$; $k = 2$; $n = 26$; $m = 13$. Сравнивая значение F -статистики, равное 6,031 с его критическим значением (0,051 при 5% уровне значимости), приходим к выводу о том, что уравнения регрессии (4) и (5) нельзя признать статистически одинаковыми. Таким образом, подтипы № 1 и № 2 разделяют угольное месторождение на два новых геологически однородных участка по критерию статистической однородности.

Заключение

При выделении геологически однородных участков толщи в пределах шахтного поля возникает задача выбора оптимального количества этих участков, то есть выбор критерия окончания разбиения.

На первом этапе кластеризации угольное месторождение разбивается на два геологически однородных участка. На втором этапе каждый участок, выделенный на первом этапе, разбивается на два более мелких участка и т.д. Выбор числа кластеров к моменту окончания алгоритма является произвольным и определяется исследователем, осуществляющим геометризацию показателей. В качестве статистического критерия окончания процедуры кластеризации предлагается выбрать значение F -статистики (см. формулу (1)) по тесту Чоу. Необходимо провести сравнение уравнений регрессии, связывающих геологические факторы угольного месторождения в двух участках, выделенных на текущем этапе кластеризации. В случае если вычисленное значение F -статистики меньше критического, это свидетельствует о совпадении регрессионных моделей (парагенетических взаимосвязей) и геологической однородности участков толщи. Следовательно, такое разбиение участка толщи не является статистически значимым, и нет необходимости его осуществлять. Участок угольного месторождения с однородной пространственной изменчивостью показателя выделяется на основе статистического критерия, учитывающего парагенетические связи условий разработки, что обеспечивает минимальную величину погрешности средних значений горно-геологических факторов на выемочных участках при планировании горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречухин В. В. Петрофизика угленосных формаций. — М.: Недра, 1990. — 472 с.
2. Порцевский А. К. Оценка подобия массивов и принцип переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2005. — № 4. — С. 215–217.
3. Руденко В. В., Ведяев А. Ю. Многомерная модель геометризации качества комплексных руд Орловского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № 9. — С. 123–129.

4. Такранов Р.А., Литвинова А.А. Закономерности кваліметрических характеристик для информационного обеспечения угледобычи на карьерах // Маркшейдерский вестник. — 2014. — № 1. — С. 13–18.

5. Zhang W., Li X.-B., Gong F.-Q. Stability classification model of mine-lane surrounding rock based on distance discriminant analysis method // Journal of Central South University of technology. — 2008. — Vol. 15. — P. 117–120.

6. Chihi H., Bedir M., Belayouni H. Variogram identification aided by a structural framework for improved geometric modeling of faulted reservoirs: Jeffara basin, Southeastern Tunisia // Natural resources research. 2013. — Vol. 22, No. 2. — P. 139–161.

7. Velikoslavinskii S. D., Glebovitskii V. A., Krylov D. P. Separation between sedimentary and magmatic silicate rocks by discriminant analysis of major element contents // Doklady earth sciences. — 2013. — Vol. 453, No. 1. — P. 1150–1153.

8. Neil K., Schmidhalter U. Using discriminant analysis and logistic regression in mapping quaternary sediments // Mathematical geosciences. — 2014. — Vol. 46. — P. 361–376.

9. Шурыгин Д.Н., Шуткова В.В. Роль геометризации горно-геологических условий при планировании развития горных работ геолого-маркшейдерской службой угольной шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7 (S 26). — С. 3–9.

10. Шурыгин Д.Н., Шуткова В.В. Особенности геометризации различных горно-геологических условий, оказывающих неблагоприятное влияние на процессы ведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7 (S 26). — С. 18–21.

11. Шурыгин Д.Н. Цифровое моделирование и геометризация участков углевмещающей толщи с однородными горно-геологическими условиями ведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 7 (S 26). — С. 14–18.

12. Калинченко В.М., Руденко В.В. Анализ ситуации в угольной отрасли Восточного Донбасса и перспективы ее развития // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — № 11 (S 47). — С. 16–20. **ПЛАЭ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шурыгин Дмитрий Николаевич¹ — кандидат технических наук, доцент, e-mail: shurygind@mail.ru,

Литовченко Татьяна Викторовна¹ — кандидат технических наук, доцент,

Заика Алексей Александрович¹ — магистрант,

Добровольский Владимир Аркадьевич¹ — магистрант,

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analitcheskiy byulleten'. 2017. No. 8, pp. 83–88.

UDC 622.1

D.N. Shurygin, T.V. Litovchenko, A.A. Zaika, V.A. Dobrovolskiy

SUBSTANTIATION OF MULTI-DIMENSIONAL STATISTICAL UNIFORMITY CRITERION FOR A COAL DEPOSIT AREA

The allocation of geologically homogeneous sections of coal thickness necessary for the geometrization of the indicators and predict their values in the geological space. In multidimensional geometrization is not always possible to build a single mathematical model that has good predictive properties, for the entire coal thickness. In this case, for each geologically uniform area of thickness selected model drop the measure. When sequential allocation is geologically homogeneous sections by cluster analysis at each stage there is a need for a more detailed clustering. The criterion of homo-

generality of the plot and stop the clustering procedure is the constancy of the parameters of the regression equation correlation of indicators. The allocation of geologically homogeneous sections of the coal field on the basis of mathematical modeling of the properties of the rock layers in the subsoil provides more accurate forecast of the average values of mining and geological indicators at the excavation sites and the reliability of establishing paragenetic relations of the indicators to be used in planning mining operations.

Key words: mining-geometrical model, mathematical modeling, mine planning, geological uniformity.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-83-88

AUTHORS

Shurygin D.N.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: shurygind@mail.ru,
Litovchenko T.V.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor,
Zaika A.A.¹, Master's Degree Student,
Dobrovolskiy V.A.¹, Master's Degree Student,
¹ M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Grechukhin V.V. *Petrofizika ugleonosnykh formatsiy* (Petrophysics coal-bearing formations), Moscow, Nedra, 1990, 472 p.
2. Portsevskiy A. K. *Otsenka podobiya massivov i printsip perenosa izvestnykh gorno-tekhnologicheskikh resheniy v novuyu geologicheskuyu sredu*. 2005, no 4, pp. 215–217.
3. Rudenko V.V., Vedyayev A.Yu. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2009, no 9, pp. 123–129.
4. Takranov R.A., Litvinova A.A. *Marksheyderskiy vestnik*. 2014, no 1, pp. 13–18.
5. Zhang W., Li X.-B., Gong F.-Q. Stability classification model of mine-lane surrounding rock based on distance discriminant analysis method. *Journal of Central South University of technology*. 2008. Vol. 15, pp. 117–120.
6. Chihi H., Bedir M., Belayouni H. Variogram identification aided by a structural framework for improved geometric modeling of faulted reservoirs: Jeffara basin, Southeastern Tunisia. *Natural resources research*. 2013. Vol. 22, no 2, pp. 139–161.
7. Velikoslavinskii S.D., Glebovitskii V.A., Krylov D.P. Separation between sedimentary and magmatic silicate rocks by discriminant analysis of major element contents. *Doklady earth sciences*. 2013. Vol. 453, no 1, pp. 1150–1153.
8. Heil K., Schmidhalter U. Using discriminant analysis and logistic regression in mapping quaternary sediments. *Mathematical geosciences*. 2014. Vol. 46, pp. 361–376.
9. Shurygin D.N., Shutkova V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7 (S 26), pp. 3–9.
10. Shurygin D.N., Shutkova V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7 (S 26), pp. 18–21.
11. Shurygin D.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 7 (S 26), pp. 14–18.
12. Kalinchenko V.M., Rudenko V.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015, no 11 (S 47), pp. 16–20.

